

УДК 546.28

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

С. Э. Притчин, А. П. Чорный

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина. E-mail: pritchinse@ukr.net

Постоянный рост производства изделий электронной техники и элементов фотовольтаики приводит к необходимости создания комплексов контроля параметров полупроводниковых материалов, позволяющих автоматизировать ручные операции контроля и выпуск приемо-сдаточной документации. В работе описаны подходы к разработке таких комплексов. Выполнен анализ выходных параметров слитка и определены три условные группы измеряемых параметров. На основе анализа методов, методик и оборудования, применяющихся в серийном производстве слитков полупроводниковых материалов, выработаны требования к автоматическим комплексам контроля параметров полупроводниковых материалов. Разработана структурная схема автоматизированного комплекса, определены протоколы передачи данных, разработано программное обеспечение автоматизированного комплекса контроля параметров полупроводниковых материалов, позволяющее формировать сертификат качества слитка полупроводника.

Ключевые слова: слитки полупроводника, автоматизированный комплекс, контроль параметров.

АВТОМАТИЧНИЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

С. Е. Притчин, О. П. Чорний

Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна. E-mail: pritchinse@ukr.net

Постійне зростання виробництва виробів електронної техніки та елементів фотовольтаїки призводить до необхідності створення комплексів контролю параметрів напівпровідникових матеріалів, що дозволяє автоматизувати ручні операції контролю та випуск приймально-сдаточної документації. У роботі описані підходи до розробки таких комплексів. Виконано аналіз вихідних параметрів злитка і визначені три умовні групи вимірюваних параметрів. На основі аналізу методів, методик і устаткування, які застосовуються в серійному виробництві злитків напівпровідникових матеріалів, визначено вимоги до автоматичних комплексам контролю параметрів напівпровідникових матеріалів. Розроблено структурну схему автоматизованого комплексу, визначені протоколи передачі даних і розроблено програмне забезпечення автоматизованого комплексу контролю параметрів напівпровідникових матеріалів, яке дозволяє формувати сертифікат якості злитка напівпровідника.

Ключові слова: злитки напівпровідника, автоматизований комплекс, контроль параметрів.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Все возрастающий объем производства изделий на основе полупроводниковых материалов требует новых средств, методов и методик контроля параметров слитков полупроводниковых материалов, таких как кремний и арсенид галлия. Современные методы контроля основных параметров слитков полупроводников требуют проведение как разрушающих, так и неразрушающих комплексных измерений параметров слитков, что, в свою очередь, вызывает проведение большого объема трудоемких расчетов для обработки результатов измерений. Одновременно сдача готовой продукции заказчику требует формирования сертификатов качества слитка, и другой приемо-сдаточной документации.

Известно ряд методов и оборудования для промышленного контроля параметров полупроводников [1, 2], но эти системы не позволяют решать задачи автоматизации контроля.

Современное производство полупроводниковых материалов выдвигает повышенные требования к качеству промышленного контроля параметров слитков полупроводников, повышения достоверности значений измеряемых параметров, скорости проведения измерений, оперативности обработки и представления результатов измерений, а также сни-

жение трудоемкости выполнения операций измерения приводят к необходимости автоматизации операций контроля параметров полупроводников и формирования паспорта изделий. Наличие автоматического комплекса контроля параметров слитков арсенида галлия и кремния обеспечит возможность ведения централизованной базы данных о технологических параметрах процессов компоновки и выращивания слитков полупроводников, а также их физико-химических свойствах (параметрах качества).

Анализ и обработка данных такой базы данных с помощью средств *data mining* позволит обеспечить оперативную информационную поддержку принятия решений по оптимизации режимов технологических процессов производства монокристаллов.

В настоящее время задача автоматизации измерения отдельных электрофизических параметров полупроводников довольно успешно решена. Однако отсутствие единой информационной сети приводит к тому, что заполнение паспортов на слитки выполняется на каждом технологическом этапе вручную операторами. Отсутствует возможность оперативного анализа полученных результатов измерений и формирования отчетов за определенные промежутки времени.

Целью работы является синтез функциональной структуры, процедур обмена информацией и специального программного обеспечения автоматизированного комплекса промышленного контроля параметров слитков монокристаллических полупроводников.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Качество слитков полупроводников, в частности кремния и арсенида галлия характеризуется рядом требований к его электрофизическим параметрам, которые имеют строго определенные значения и допуски для различных марок выпускаемой продукции. В соответствии с техническими условиями [3, 4] каждый слиток полупроводника сопровождается документом о качестве (сертификатом), в котором указываются:

- 1) наименование и торговый знак предприятия;
- 2) наименование продукции и ее марка;
- 3) номер слитка;
- 4) ориентация слитка;
- 5) тип электропроводимости;
- 6) среднее значение удельного электрического сопротивления на каждом торце;
- 7) величина относительного отклонения средних значений удельного электрического сопротивления обеих торцов слитка от номинального значения;
- 8) величина радиального относительного отклонения удельного электрического сопротивления от среднего значения по каждому торцу слитка;
- 9) плотность дислокаций;
- 10) время жизни неосновных носителей заряда;
- 11) концентрация кислорода;
- 12) концентрация углерода;
- 13) отсутствие свирлевых дефектов;
- 14) плотность дислокаций
- 15) длина и диаметр слитка;
- 16) масса нетто в граммах;
- 17) дата изготовления.

Параметры 1, 2, 3 и 15 в сертификат заносятся технологом, остальные параметры измеряются и заносятся в сертификат службой главного метролога. Измеряемые параметры (4–15) условно можно разбить на три группы:

- параметры, измеряемые непосредственно оператором;
- параметры, измерение которых автоматизировано, т.е. измерение параметра производится специализированной аппаратурой с формированием результата измерения в виде электрических сигналов и отображением значения параметров на индикаторах;
- автоматически измеряемые параметры, т.е. измерение параметра, производится специализированной аппаратурой, в состав которой входит вычислительный комплекс.

Каждый параметр измеряется в соответствии с утвержденной методикой измерения.

Рассмотрим методы и методики промышленного контроля параметров полупроводниковых материалов используемые на предприятиях электронной промышленности Украины, которые представлены в табл. 1.

Анализируя методы, методики и оборудование, которые используются при проведении промышленного контроля параметров полупроводниковых материалов, можно сформулировать следующие требования к автоматизированной системе промышленного контроля параметров монокристаллического кремния:

1. Система должна обеспечивать автоматическое формирование сертификата слитка.
2. Система должна обеспечивать введение данных в следующих режимах: вручную с рабочих мест оператора или технолога; с автоматизированных устройств измерения путем преобразования аналоговых сигналов в цифровые с последующей передачей этой информации в систему; с автоматических средств измерения.
3. Система должна обеспечить регистрацию данных и их представление в удобном для технолога виде с целью формирования отчетов и анализа качества выпускаемых монокристаллических слитков.
4. Система должна поддерживать связь с системой более высокого уровня по сети Ethernet.

Синтез функциональной структуры системы.

С учетом вышеизложенных требований синтезируем структурную схему автоматизированной системы, в связи с чем рассмотрим особенности проведения измерения параметров монокристаллических слитков кремния.

Территориально источники информации, которые являются основой формирования сертификата, распределены по предприятию и по участку измерения параметров. Измерения параметров могут проводиться в порядке очередности для одной группы параметров, и параллельно для другой группы параметров. В одно и тоже время на измерительном участке производятся измерения параметров нескольких слитков. Значения параметров представляет собой данные различных типов.

Таким образом, с учетом территориальной распределенности и разноплановости оборудования рабочих мест измерения параметров, в основу автоматизированной системы промышленного контроля параметров слитков монокристаллического кремния можно положить распределенную систему сбора информации с использованием интерфейса RS-485.

Такое решение позволяет создать локальную сеть с удалением рабочих мест измерения параметров (станций) до 1200 м от управляющего компьютера (хост-компьютера). Каждая станция в такой системе должна быть оборудована стационарными диспетчерами, контролирующими доступ к шине RS-485 и формирующими данные в соответствии с протоколом сети.

Таблица 1 – Методы, методики и оборудование промышленного контроля полупроводниковых материалов

Параметр	Метод	Методика	Степень автоматизации	Измеряемый образец	Оборудование
Ориентация слитка	Оптический	Определение ориентации и отклонения плоскости торцевого среза от заданной кристаллографической плоскости монокристаллических слитков ГОСТ 19658-81	Неавтоматизированный	Слиток	Отсутствует
Тип электропроводности	Термозонда	Определение типа электропроводности ГОСТ 19658-81	Автоматизированный	Шайба	ПР138 (Нестан.)
Удельное электрическое сопротивление	Четырехзондовый	Измерение удельного электрического сопротивления четырехзондовым методом ГОСТ 19658-81	Автоматизированный	Шайба	Метрика (Нестандартизированное)
Удельное электрическое сопротивление	Эффект Холла	Измерение удельного электрического сопротивления путем измерения электрического поля ГОСТ 25948-83	Автоматизированный	Шайба	Холл-300
Радиальное относительное отклонение удельного электрического сопротивления от среднего значения	Четырехзондовый	Измерение удельного электрического сопротивления четырехзондовым методом ГОСТ 19658-81	Неавтоматизированный	Шайба	Метрика (Нестандартизированное)
Плотность дислокаций	Химического травления	Определение плотности дислокаций ГОСТ 19658-81	Неавтоматизированный	Шайба	Отсутствует
Время жизни носителей заряда	Модуляции проводимости в точечном контакте	Измерение времени жизни неравновесных носителей заряда ГОСТ 19658-81	Автоматический	Шайба	τ -120 (Нестандартизированное)
Отсутствие свирлевых дефектов	Химического травления [7]	Выявление свирлевых дефектов ГОСТ 19658-81	Неавтоматизированный	Шайба	Отсутствует
Концентрация носителей заряда	Эффект Холла	Расчетным путем ГОСТ 25948-83	Неавтоматизированный	Шайба	Отсутствует
Подвижность носителей заряда	Эффект Холла	Расчетным путем ГОСТ 25948-83	Неавтоматизированный	Шайба	Отсутствует
Длина и диаметр слитка	Отсутствует	Отсутствует	Неавтоматизированный	Слиток	Стандартный мерительный инструмент
Масса нетто в граммах	Отсутствует	Отсутствует	Неавтоматизированный	Слиток	Стандартный мерительный инструмент

Функциональная схема такой системы представлена на рис. 1. Измерение параметров распределено по измерительным участкам в соответствии с методиками и образцами, требуемыми для измерения параметров (табл. 1). Схема учитывает степень автоматизации процесса измерения. Для неавтоматизиро-

ванных процессов измерения ввод данных осуществляется оператором вручную с терминалов, для автоматизированных процессов данные формируются формирователями информации, а для автоматических процессов формирование данных производится программным обеспечением измерительных комплексов.

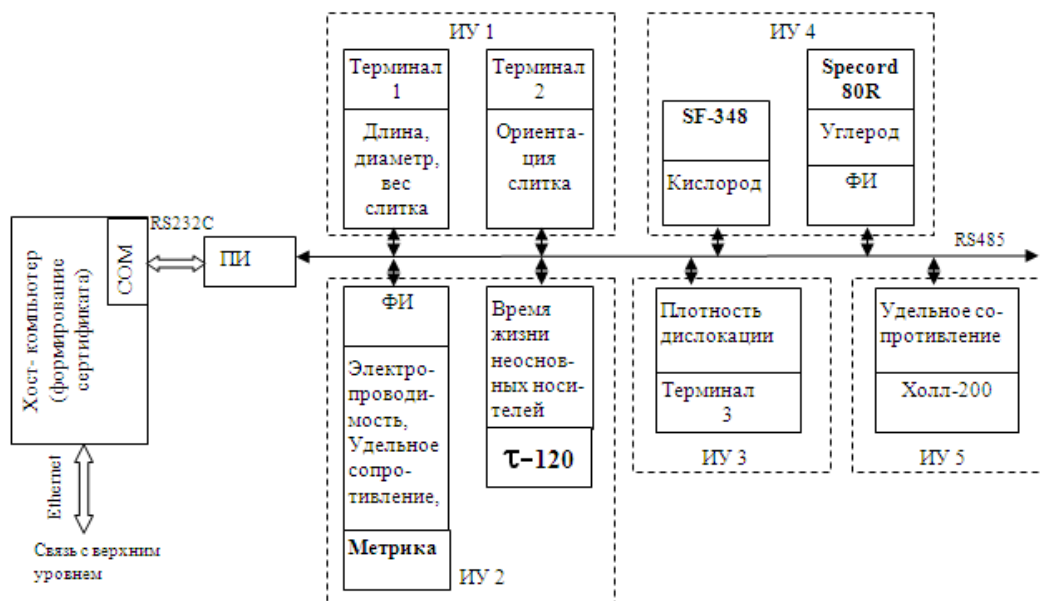


Рисунок 1 – Структурная схема автоматической комплекс контроля параметров полупроводниковых материалов. ПИ – преобразователь интерфейса; ИУ – измерительный участок; ФИ – формирователь информации

Как было сказано выше, при проведении измерений обычно возникает ситуация, когда в одно и тоже время на различных участках проводится измерение параметров различных слитков. Это приводит к тому, что в сети оказывается информация, относящаяся к различным сертификатам качества. Для устранения данного недостатка формирование информации о результатах измерения для ее передачи в сеть должно производиться в виде фреймов, структура которых включает следующие поля:

1. Поле заголовка, которое включает в себя адресное поле станции и поле кода измеряемого параметра.
2. Информационное поле, которое состоит из поля, содержащего номер слитка, поля, содержащего значение измеряемого параметра, поля, содержащего фамилию оператора, и поля даты-времени.
3. Контрольное поле, которое содержит контрольную сумму фрейма.

Протокол обмена информацией в такой сети формируется следующим образом: хост-компьютер формирует запрос к станции, содержащий адрес станции и команду на передачу ответа. Станция, адрес которой совпадает со значением адресного поля запроса, передает сформированный фрейм в случае, если данные измерения готовы, или сигнал отсутствия данных, если измерение параметра еще не завершено, или оператор не внес новые данные. Хост-компьютер, приняв ответ станции, проверяет корректность принятых данных по значению контрольной суммы, и в случае подтверждения правильности принятой информации определяет по информационному полю фрейма номер слитка с занесением измеренного значения параметра в соответствующий сертификат качества. После поступления всех результатов измерения формируется сер-

тификат качества слитка, который затем заносится в базу данных.

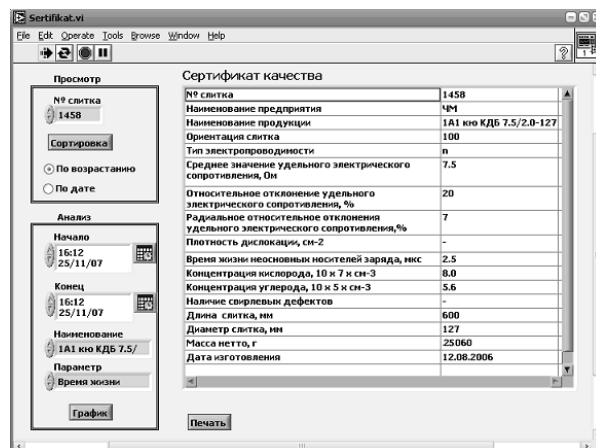


Рисунок 2 – Программа автоматического комплекса контроля параметров полупроводниковых материалов

Разработанное программное обеспечение позволяет оператору измерительной лаборатории формировать в виде отчета сертификат качества слитка с последующим выводом сертификата на печать, просматривать сертификаты по номеру слитка с возможностью сортировки либо по номеру, либо по дате. Интерфейс программы позволяет производить анализ параметров слитков за выбранный промежуток времени для слитков конкретных марок (наименования продукции) слитка.

ВЫВОДЫ. Выполненный анализ методов, методик, средств измерений и степени автоматизации промышленного контроля параметров монокристаллического кремния позволил синтезировать функ-

циональную схему автоматизированной системы контроля параметров.

Сформированы требования и определена функциональная структура системы, основой которой является распределенная локальная сеть на основе интерфейса RS-485. Сформированы требования и определена структура сообщений в виде фреймов.

Разработано специальное программное обеспечение автоматизированной системы промышленного контроля параметров слитков монокристаллического кремния, позволяющее формировать сертификат качества слитка, просматривать сохраненные сертификаты, производить анализ параметров за выбранный промежуток времени, а также обеспечивать связь с системой вышестоящего уровня.

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF SEMICONDUCTOR MATERIALS PARAMETERS

S. Prytchyn, A. Chorny

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: pritchinse@ukr.net

The constant growth of production of electronic products and photovoltaic components necessitates creation of the parameters control complexes for semiconductor materials that would allow for automation of manual checkout operations and acceptance documentation release. The paper describes approaches to the development of such complexes. Within the frame of research the output parameters of the ingot were analyzed and three conditional groups of measured parameters were identified. Requirements for the automatic control complex of semiconductor materials parameters were worked out based on analysis of methods, techniques and equipment used in batch production of ingots of semiconductor materials. It was worked out a block diagram of the automated complex, defined the data transfer protocols and developed the automated complex software for the control of parameters of semiconductor materials, which allows creating a quality certificate of a semiconductor ingot.

Keywords: semiconductor ingots, automated complex, parameter control.

REFERENCES

1. Rembeza, S.I. (1989), *Metody izmerenij osnovnykh parametrov poluprovodnikov* [Measuring methods of the key parameters of semiconductors], Voron, Voronezh, Russia.
2. Ichimura, M., Ito, S., and Arai, E. (2002), "Changes in carrier profiles of bonded SOI wafers with thermal annealing measured by the spreading resistance method", *Solid-State Electronics*, vol. 46, pp. 545 – 553.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рембеза С.И. Методы измерений основных параметров полупроводников. – Воронеж: Изд-во Ворон, ун-та, 1989. – 224 с.
2. Changes in carrier profiles of bonded SOI wafers with thermal annealing measured by the spreading resistance method / M. Ichimura, S. Ito, E. Arai // *Solid-State Electronics*. – 2002. – Vol. 46. – PP. 545–553.
3. Кремний монокристаллический в слитках. Технические условия: ГОСТ 19658-81. – [Действителен от 05-04-2001]. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 47 с.
4. Арсенид галлия и фосфид галлия монокристаллические. Измерение удельного электрического сопротивления и коэффициента Холла ГОСТ 25948-83. – [Действителен от 05-04-2001]. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 24 с.

Стаття надійшла 28.12.2013.